

PREPARAÇÃO DOS TRABALHADORES PARA A I4.0: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Versão do autor aceita publicada online: 31 ago. 2022

Publicado online: 13 out. 2022

Como citar esse artigo - American Psychological Association (APA): Melo, J. C., Rays Filho, I., Guerra, B. F., & Muniz Junior, J. (2022). Preparação dos trabalhadores para a I4.0: revisão sistemática da literatura. *Exacta*. DOI: <https://doi.org/10.5585/exactaep.2022.21905>.

Julio Cesar Melo

julio.c.melo@terra.com.br

<https://orcid.org/0000-0003-4743-1652>

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP), FACULDADE DE ENGENHARIA, BAURU

He hold's MSc degree in Production Engineering at São Paulo State University (UNESP), School of Engineering and is a PhD candidate at the São Paulo State University (UNESP), School of Engineering. Since 2019, he has been lecturing in Production Engineering, Mechanical Engineering and Electrical Engineering courses. He has experience in Production Engineering and Business Administration, with emphasis on Production Planning and Control, Logistics, Supply Chain Management, Production and Operations Management, Lean Manufacturing and Human Resources Management.

Isidoro Rays Filho

isidoro.rays@unesp.br

<https://orcid.org/0000-0003-0893-2382>

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP), FACULDADE DE ENGENHARIA, BAURU

Isidoro é graduado em Engenharia de Produção e candidato a mestre em Engenharia de Produção pela UNESP, Faculdade de Engenharia de Bauru.

Bruno Fonseca Guerra

bruno.guerra@unesp.br

<https://orcid.org/0000-0001-8802-9921>

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP), FACULDADE DE ENGENHARIA, BAURU

Bruno é graduado em Engenharia de Produção e candidato a mestre em Engenharia de Produção pela UNESP, Faculdade de Engenharia de Bauru.

Jorge Muniz Junior

jorge.muniz@unesp.br

<https://orcid.org/0000-0003-3496-0256>

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP), FACULDADE DE ENGENHARIA, GUARATINGUETÁ

Associate Professor in the Universidade Estadual Paulista (UNESP), Sao Paulo, Brazil, Coordinator of Executive Master in Production Engineering (MePEP/UNESP), Associate Editor of Production Journal. Doctorate in Operation Management (UNESP) awarded by Production Engineering Brazilian Association (ABEPRO), and M.S. with Honor (Operation Management) at Universidade de Sao Paulo (USP). He used to be FORD's executive

responsible for integrating lean thinking and quality system. He researches Social Systems and Future Manufacturing (Industry 4.0) and Knowledge Management in Production Systems.

Resumo

Parece ser consenso entre pesquisadores e profissionais que atuam nas organizações que a indústria 4.0 (I4.0) traz consigo inúmeras ferramentas e tecnologias para as quais os trabalhadores ainda não estão preparados. Para obterem sucesso na implantação da I4.0, os gestores das organizações sabem, ou pelo menos deveriam saber, que os trabalhadores precisarão ser preparados para lidarem com estas ferramentas e tecnologias, caso contrário, todos os esforços e recursos investidos, poderão não trazer os resultados esperados. Por meio de uma revisão sistemática da literatura, este artigo tem o objetivo de analisar e discutir sobre a preparação dos trabalhadores para atuarem na I4.0, para que assim possam exercer suas respectivas atividades com eficiência e segurança. Ao responder à questão sobre o que deve ser considerado para o desenvolvimento dos trabalhadores atuarem na I4.0, identificou-se que três aspectos são levados em consideração pelos pesquisadores que realizaram trabalhos sobre tema, que são as competências dos trabalhadores, os perfis dos cargos e os programas e métodos de treinamento. Estes três aspectos foram analisados visando oferecer aos gestores mais informações para auxiliar na tomada de decisão.

Palavras-chave: Competências; Treinamentos, Industria 4.0; Trabalhadores; Fábricas inteligentes; Engenharia de manufatura; Gestão das operações.

Abstract

There seems to be a consensus among researchers and professionals working in organizations that industry 4.0 (I4.0) brings with it numerous tools and technologies for which workers are not yet prepared. To succeed in implementing I4.0, managers of organizations know, or at least should know, that workers will need to be prepared to deal with these tools and technologies, otherwise, all the efforts and resources invested may not bring the expected results. Through a systematic review of the literature, this article aims to analyze and discuss the preparation of workers to work with I4.0, so that they can carry out their respective activities efficiently and safely. When answering the question about what should be considered for the development of workers working in I4.0, it was identified that three aspects are taken into account by researchers who carried out work on the topic, which are workers' skills, job profiles and training programs and methods. These three aspects were analyzed in order to provide managers with more information to assist in decision making.

Keywords: Competences; Training; Industry 4.0; Workers; Smart factories; Manufacturing Engineering; Operations management.

1. Introdução

A Indústria 4.0 (I4.0) tem impactado as organizações com mudanças significativas no ambiente de trabalho, que exigem dos operadores novas habilidades e competências para desempenharem adequadamente suas novas funções, dado o alto nível de integração e automação, sistemas inteligentes de manufatura e robótica (Jerman, Bertoneclj, Dominici, Pejić Bach, & Trnavčević, 2020). Salvatore, Stefano, Valentina e Valentina (2021) indicam a importância de colocar os operadores em primeiro plano em relação à tecnologia.

A competência é o conhecimento para se fazer algo, enquanto que a habilidade é a capacidade de colocar em prática os conhecimentos adquiridos (Santos & Simon, 2018). Dota-se o termo competência englobando todos os requisitos necessários para que os trabalhadores desenvolvam suas atividades frente às novas demandas advindas com as tecnologias e ferramentas da I4.0, incluindo as habilidades.

A I4.0 promove um ambiente de trabalho digitalizado e em rede, no qual os trabalhadores interagem com algoritmos, robótica e operações virtuais, o que exige novas competências (Maisiri, Darwish, & VanDyk, 2019) e, para que as fábricas atuais se transformem em fábricas inteligentes, são necessárias novas competências para os trabalhadores, assim como prepará-los para este novo cenário (Jerman, Bertoneclj et al., 2020; Maisiri et al., 2019; Sagnak, 2021; Skrinjaric & Domadenik, 2019; Vassiliadis & Hilpert, 2020).

Ada, Ilic e Sagnak (2021) indicam que o nível de competências atuais dos trabalhadores está aquém das demandas da I4.0, por isso, as empresas precisarão desenvolver novas abordagens de treinamento, como ensino a distância, preparação no local de trabalho (*on the job training*) e educação não formal, como forma de desenvolvê-los para o pleno desempenho das respectivas funções. Jerman, PejićBach e Aleksić (2020) comentam que a complexidade das novas tarefas ligadas a I4.0 e a demandas por trabalhadores multifuncionais, fazem com que as empresas, por meio da área de Recursos Humanos (RH), passem a dar mais atenção para o desenvolvimento de competências dos trabalhadores atuais, dando maior ênfase para as competências digitais, o processo contínuo de aprendizado e o desenvolvimento de novas competências.

O desenvolvimento de competências dos operadores para a I4.0 é centrado nas tecnologias digitais e, dado o salto tecnológico que as empresas vão ter, ter-se-á no treinamento dos trabalhadores, parte do êxito na adoção das novas tecnologias (Evans, 2019; Jerman, Bertoneclj et al., 2020). A maior parte da literatura atual sobre a I4.0 está relacionada a tecnologia (Saha; Dasgupta, 2018), por isso, existe a necessidade de mais pesquisas sobre seus impactos nos trabalhadores e suas habilidades para apoiar a implementação (Ada et al., 2021; Vassiliadis & Hilpert, 2020). Maisiri et al. (2019) reportaram que a I4.0 deve ser avaliada para além da face tecnológica e, para que se obtenha sucesso, o desenvolvimento dos trabalhadores precisa ser contemplado. O presente trabalho explora esta lacuna e visa responder a seguinte questão de pesquisa:

O que deve ser considerado para o desenvolvimento dos trabalhadores atuarem na I4.0?

O artigo discute sobre o desenvolvimento dos trabalhadores que atuarão na I4.0 por meio de uma revisão sistemática da literatura. A revisão contribui para indicar as competências futuras para os trabalhadores na I4.0 (Ada et al., 2021; Hernandez-DeMenendez, MoralesMenendez, Escobar, & McGovern, 2020; Jerman, Bertoneclj et al., 2020), como

capacitar os trabalhadores (treinamentos) para a I4.0 (Ada et al., 2021; Ansari, 2019; Kaasinen et al., 2020; Maisiri & VanDyk, 2021) e os perfis de cargo necessários para a I4.0 (Jerman, Bertoneclj et al., 2020; Maisiri et al., 2019; Skrinjaric & Domadenik, 2019; Vassiliadis & Hilpert, 2020).

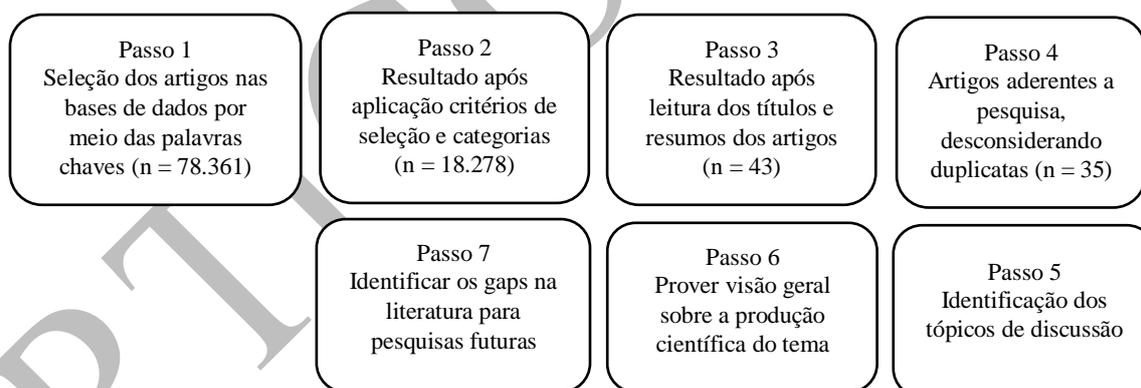
O presente trabalho está alinhado com as oportunidades de pesquisas identificadas na literatura pesquisada e procura contribuir para com a gestão de RH em relação às competências relevantes para os trabalhadores na I4.0, as qualificações que devem estar presentes nas descrições de funções, assim como quais treinamentos podem apoiar a preparação dos trabalhadores. A pesquisa também traz informações que podem contribuir com os requisitos do tema 1 da última edição do SINGEP, no que diz respeito às tecnologias habilitadoras da I4.0 e seus impactos na Engenharia de Produção e na Estratégia e Gestão de Operações.

As demais seções do artigo são a 2 com o método da pesquisa, a seção 3 contém a revisão da literatura sobre a I4.0 e as principais ferramentas, a seção 4 apresenta o desenvolvimento dos trabalhadores para a I4.0, a seção 5 discute os resultados sobre a preparação dos trabalhadores quanto às competências, descrição de funções e treinamentos e a seção 6 contém a conclusão e sugestões de pesquisas futuras.

2. Método

O método adotado para esta pesquisa foi adaptado da revisão sistemática da literatura proposto por Moher et al. (2009) e Nakano e Muniz (2018), cujos passos estão demonstrados na Figura 1.

Figura 1 – Fluxo das etapas da pesquisa



Fonte: Elaborada pelos autores

A primeira etapa foi a escolha dos termos de busca a serem aplicados nas bases de dados a serem consultadas. Os termos utilizados na Scopus, Web of Science e Science Direct foram “industry 4.0” OR “smart* manufact*” OR “smart* factor*” OR “manufactur*” OR “industry” AND “skill*” AND “competenc*”.

Os critérios aplicados para seleção dos artigos nas bases consultadas foram: somente artigos publicados em *journal* ou congresso, nos idiomas Inglês, Português ou Espanhol, que foram publicados de 2013 em diante e nas categorias *engineering manufacturing*, *engineering*

industrial, operations research management, management, business, economics e education educational research. Os resultados da pesquisa estão demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados da busca realizada nas bases de dados

Plataforma	Scopus	Web of Science	Science Direct
Tópicos pesquisados	"Industry 4.0" OR "smart* manufact*" OR "smart* factor*" OR "manufactur*" OR "industry" AND "skill*" AND "competenc*"		
Resultado de documentos	41.081	14.329	22.951
Tipos de Documento (1º critério de exclusão)	Article and Conference Paper	Article and Conference Paper	Research Articles and Conference Paper
Resultado de documentos	36.893	12.536	16.222
Categorias (2º critério de exclusão)	Engineering; Business, Management and Accounting; Decision Science; Economics, Econometrics and Finance.	Engineering manufacturing; Engineering Industrial; Operations Research Management; Management; Business; Economics.	Engineering; Business, Management and Accounting; Decision Science; Economics, Econometrics and Finance.
Resultado de documentos	11.426	4.185	5.083
Idioma (3º critério de exclusão)	Espanhol, Inglês e Português	Espanhol, Inglês e Português	Espanhol, Inglês e Português
Resultado de documentos	10.182	3.971	4.125
Elegibilidade por título e resumo (4º critério de exclusão)	16	22 (5 comuns)	5 (3 comuns)
Total documentos da RSL	35		

Fonte: Adaptado de Moher et al. (2009)

2.1 Perfil dos artigos

Esta seção apresenta um breve perfil dos 35 artigos extraídos das bases de dados, como forma de orientar os leitores sobre os métodos utilizados pelos autores, bem como as regiões e/ou países onde as pesquisas foram realizadas. Estes dados foram categorizados e estão contidos, respectivamente, nos Quadros 1 e 2.

Os métodos utilizados pelos pesquisadores para realizarem seus respectivos trabalhos variam de revisão sistemática da literatura, estudo de caso e *survey*, sendo que algumas pesquisas lançaram mão de mais de um método. Os mais aplicados foram a revisão sistemática da literatura e o estudo de caso, com 13 trabalhos cada. Na sequência aparece o método qualitativo, com 9 trabalhos, seguido pelos métodos quantitativo e *survey*, ambos com 5 trabalhos.

A maioria dos autores, exatamente 15 dentre os 35, não especificaram o local da pesquisa ou realizaram revisão sistemática da literatura, portanto, não envolveu uma determinada região específica. Em segundo lugar aparecem as pesquisas que foram realizadas em regiões/países em desenvolvimento, com 13 trabalhos, seguida por pesquisas realizadas em regiões/países desenvolvidos, com 10 trabalhos.

Quadro 1 – Métodos de pesquisa adotados pelos autores

Método da Pesquisa	Autor(es)
Revisão Sistemática da Literatura	Ansari (2019); Belinski et al. (2020); Chryssolouris et al. (2013); Enke et al. (2018); Flores, Xu e Lu (2020); Hernandez-DeMenendez et al. (2020); Hulla, Hammer, Karre e Ramsauer (2019); Jerman, Bertoneclj et al. (2020); Kipper et al. (2021); López, Ponce, Molina, RamírezMontoya & LopezCaudana (2021); Maisiri et al. (2019); Nardo, Forino e Murino (2020); Pardi (2019); Prifti et al. (2017); Salvatore et al. (2021); Vassiliadis e Hilpert (2020).
Estudo de caso	Ada et al. (2021); Cirillo, Rinaldini, Staccioli e Virgillito. (2021); Gorecky, Khamis e Mura (2017); Jerman et al. (2020); Kaasinen et al. (2020); Maisiri e VanDyk (2021); Paszkiewicz et al. (2021); Pfeiffer (2016); Schallock et al. (2018); Spoettl (2020); Spöttl e Windelband (2021).
Pesquisa qualitativa	Jerman, Bertoneclj et al. (2020); Kazangoglu e OzkanOzen (2018); Ulmeanu et al. (2019).
Pesquisa quantitativa	Ozkanozen e Kazancoglu (2021); Škrinjaric e Domadenik (2019).
Survey	Bag, Pretorius, Gupta e Dwivedi (2021); Dobrowolska e Knop (2020); Grzybowska e Łupicka (2017); Puriwat e Tripopsakul (2020); Spöttl e Windelband (2021).

Fonte: elaborado pelos autores

Quadro 2 – Apontamento dos países/regiões dos artigos que identificaram

4A - Países desenvolvidos	Autor(es)
Alemanha	Dobrowolska e Knop (2020); Pardi (2019); Pfeiffer (2016); Prifti et al. (2017); Schallock et al. (2018); Spoettl (2020); Vassiliadis e Hilpert (2020).
Áustria	Ansari (2019); Prifti et al. (2017).
Holanda	Prifti et al. (2017).
China	Pardi (2019).
Espanha	Spoettl (2020).
Estados Unidos da América	Pardi (2019); Vassiliadis e Hilpert (2020).
Itália	Cirillo et al. (2021); Spoettl (2020).
Reino Unido	Spoettl (2020); Ulmeanu et al. (2019).
Suíça	Prifti et al. (2017).
4B - Países em desenvolvimento	
África do Sul	Bag et al. (2021); Maisiri et al. (2019); Maisiri e VanDyk (2021).
Croácia	Škrinjaric e Domadenik (2019).
Egito	Prifti et al. (2017).
Eslováquia	Dobrowolska e Knop (2020).
Eslovênia	Jerman, Bertoneclj et al. (2020); Jerman et al. (2020).
México	López et al. (2021).
Polônia	Dobrowolska e Knop (2020); Ulmeanu et al. (2019).
Romênia	Ulmeanu et al. (2019).
Tailândia	Puriwat e Tripopsakul (2020).
Turquia	Ada et al. (2021); Kazangoglu e OzkanOzen (2018).

Fonte: Elaborado pelos autores

3. Industria 4.0

I4.0 foi um termo cunhado pelo governo alemão em novembro de 2011 (Ardito, Petruzzelli, Panniello, & Garavelli, 2018) e pode ser entendido como o esforço de integração tecnológica com vistas a obtenção de procedimentos mais ágeis, flexíveis e confiáveis, por mais complexo que um ambiente digitalizado possa ser. Para isto, há a integração de seres humanos, equipamentos e máquinas aos computadores e a rede, construindo um sistema comunicativo, integrado (horizontalmente e verticalmente) e inteligente (Bauer, Brandl, Lock, & Reinhart,

2018; Belinski et al., 2020; Jerman, Bertoncej et al., 2020; Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013), de tal forma que a I4.0 proporciona a comunicação em tempo real entre máquinas, pessoas e produtos, os mantendo conectados e com altos níveis de interações, por meio de um sistema de manufatura inteligente, personalizado e digitalizado, concebido para proporcionar flexibilidade e atender os requisitos dos clientes no menor tempo possível (Ada et al., 2021).

A I4.0 traz diversas ferramentas, desenvolvidas para aprimorar a execução das tarefas, reduzir ou eliminar o trabalho humano repetitivo e aumentar a produtividade, tal como:

(i) A internet das coisas (IOT), que se configura como a conexão entre máquinas e equipamentos entre si e com a internet, permite uma integração entre estes em tempo real (Miorandi, Sicari, De Pellegrini, & Chlamtac, 2012), apoiando a I4.0 no monitoramento dos processos de produção, facilitando a manutenção, a rastreabilidade de produtos, o gerenciamento de inventários de maneira eficaz, o desenvolvimento de soluções inovadoras e melhorando o controle de qualidade (Hernandez-DeMenendez et al., 2020). (ii) O *big data* e *analytics*, que é o armazenamento e a análise posterior de grandes volumes de dados (estruturados e não estruturados), permitem a identificação de padrões, tendências e análises mais precisas, melhorando a tomada de decisão (Dujin, Geissler, & Horstkötter, 2014). Como a geração de dados é um dos ativos mais importantes na I4.0, se bem gerenciados, esta grande quantidade de dados possibilita a solução de problemas complexos de engenharia e pode oferecer vantagens competitivas para as empresas que possuem sistemas e processos adequados para sua coleta e análise (Hernandez-DeMenendez et al., 2020). (iii) A computação em nuvem, local onde os arquivos e informações são armazenados em plataformas “na nuvem”, permite o acesso remoto, desde que conectado à internet. (Yen et al., 2014) Ela permite que as organizações compartilhem informações em segundos, permitindo a comunicação em tempo real entre os sistemas de produção (Hernandez-DeMenendez et al., 2020). Devido a maior conectividade, os dados ficam mais expostos a possíveis ataques, assim sendo, é necessário que haja uma maior segurança das informações, proporcionada pela segurança cibernética (Sadeghi, Wachsmann, & Waidner, 2015). (iv) A simulação é a ferramenta que consegue representar a realidade em modelos computadorizados, permitindo testar variáveis, comportamentos e impactos de decisões, de forma a facilitar ações práticas, antes mesmo de colocar os sistemas e máquinas em operação (Shao, Shin, & Jain, 2014). Dentro do contexto da I4.0, as simulações são utilizadas para “imitar” os processos para entender seu comportamento, facilitando as tomadas de decisões a fim de melhorar o desempenho dos processos e operações (Hernandez-DeMenendez et al., 2020). O Quadro 3 apresenta as principais ferramentas identificadas na literatura.

Quadro 3 – Principais ferramentas da I4.0 identificadas na literatura

Ferramenta	Descrição	Autores
Internet das coisas	Conexão entre máquinas e equipamentos entre si e com a internet, permitindo a integração entre os mesmos em tempo real.	Hernandez-DeMenendez et al. (2020); Jerman, Bertoncej et al. (2020); Miorandi et al. (2012).
Big data	Armazenamento e análise de grandes volumes de dados, permitindo a identificação de padrões, tendências e análises mais precisas para melhorar as tomadas de decisões.	Dujin, et al. (2014).
Computação em nuvem	Armazenamento de arquivos e informações em plataformas, permitindo acesso remoto quando conectado à internet.	Hernandez-De-Menendez et al. (2020); Yen et al. (2014).

Simulação	Capacidade de representar a realidade em modelos computadorizados, permitindo testar variáveis, comportamentos e impacto de decisões de forma a facilitar ações práticas.	Shao et al. (2014).
Manufatura aditiva	Impressão de peças e componentes de forma remota a matriz.	Brant e Sundaram (2015); Ulmeanu et al. (2019).
Inteligência artificial	Capacidade de agentes artificiais interpretarem informações, aprenderem, pensarem e tomarem decisões de maneira autônoma.	Lange e Lin (2014).
Realidade aumentada	Representação da realidade através de dispositivos conectados à internet que simulam um ambiente ou determinada situação real.	Gorecky et al. (2017); Paelke (2014); Paszkiewicz et al. (2021).
Sistemas integrados	Integração de cadeias produtivas independentes e subsistemas de valor agregado de uma única empresa.	Hernandez-DeMenendez et al. (2020).
Sistemas ciber-físicos	Sistema com comunicação via internet com outros sistemas ou pessoas em tempo real dentro das organizações.	Flores et al. (2020); Jerman, Bertoneclj et al. (2020).
Segurança cibernética	Proteções e ações que os fabricantes tomam para evitar ataques a seus sistemas de informação e dispositivos, seja para roubo ou manipulação.	Hernandez-DeMenendez et al. (2020).
Digitalização	Processo de mudança socioeconômica desencadeado pela introdução de tecnologia digital e de sua aplicação em sistemas das redes de produção.	HirschKreinsen (2016).
Robôs colaborativos	Categoria de robôs que realizam tarefas em colaboração com trabalhadores em ambientes industriais, melhorando o desempenho dos sistemas de produção e as condições de trabalho.	Gualtieri, Rauch e Vidoni (2021).
Sensores	Dispositivos que respondem a estímulos físicos e transmitem um impulso elétrico resultante, sendo amplamente utilizado em indústrias.	Mahale, Vasanth, Krishna e Peramenahalli (2021).
Redes neurais	Algoritmos que imitam a função de processamento do cérebro humano para resolver problemas complexos que envolvem uma relação de entrada e saída de informações.	Elhoone, Zhang, Anwar e Desai (2020)
Tecnologia da informação e comunicação	Refere-se a uma tecnologia da informação mais estendida onde se destacam as comunicações unificadas e a integração das telecomunicações, bem como outras tecnologias capazes de armazenar, transmitir ou manipular dados ou informações.	Zhong, Xu, Klotz e Newman (2017).

Fonte: Elaborado pelos autores

(v) A Manufatura aditiva ou impressão 3D, permite a “impressão” de peças e componentes de forma remota a matriz; opera na medida que ao se carregar um programa na impressora, consegue-se obter componentes “independentemente do local onde a impressora está instalada” (Brant & Sundaram, 2015). Como benefício, ela pode trazer para a indústria a manufatura de produtos personalizados e de alta qualidade, fazendo com que os processos sejam acelerados e o tempo de disponibilização no mercado reduzido (Hernandez-DeMenendez et al., 2020). (vi) A Inteligência artificial é a capacidade de agentes “artificiais” interpretarem informações, aprenderem, pensar e tomar decisões de maneira autônoma (Lange & Lin, 2014). (vii) A realidade aumentada é a representação da realidade através de dispositivos conectados à internet que simula um ambiente ou determinada situação real (Paelke, 2014). Quando utilizada para treinar operadores há benefícios como o aumento da produtividade, economia de

custos e tempo, prevenção de erros e aprimoramento no design de produtos (Hernandez-DeMenendez et al., 2020). (viii) Como forma de reduzir a carga de trabalho dos operadores, principalmente nas atividades repetitivas, ao mesmo tempo que visa evitar ou pelo menos reduzir erros, os robôs colaborativos atuam em consonância com o ser humano, fazendo jus ao termo colaborativo (Gualtieri et al., 2021).

4. Desenvolvimento do trabalhador 4.0

O desenvolvimento dos trabalhadores para atuação na I4.0 envolve três aspectos, a) competências necessárias ao novo trabalhador, b) construção dos perfis dos cargos e c) os programas e métodos de treinamento.

As competências necessárias estão ligadas às tecnologias advindas com a I4.0, as quais os trabalhadores precisarão estar preparados para utilizá-las. Os perfis de cargo precisarão ser revistos face as qualificações necessárias para atuação na I4.0, enquanto que os programas e métodos de treinamento estão sendo redesenhados e aperfeiçoados para poderem preparar os trabalhadores que já se encontram nas empresas e aqueles que vierem a fazer parte, mas que por ventura precisem de aperfeiçoamento.

Novas competências passaram a ser demandadas dos profissionais, tais como a criatividade, que é a capacidade de pensar e elaborar formas diferentes de resolver determinadas situações, fazendo conexão entre problemas aparentemente desconexos e encontrando padrões ocultos (Grzybowska & Łupicka, 2017; Maisiri et al., 2019), a pesquisa, que consiste na utilização de fontes confiáveis para realizar pesquisas e obter informações detalhadas e profundas sobre determinada situação (Grzybowska & Łupicka, 2017; Prifti et al., 2017) e a inteligência emocional, a qual compreende manter-se emocionalmente estável frente a desafios (Maisiri et al., 2019), fazem parte das novas exigências e serão apresentadas e discutidas na seção 5.1.

Os perfis dos cargos precisarão ser revistos face às novas qualificações e atribuições dos trabalhadores. Para cargos operacionais, nos perfis precisam constar conhecimentos de mecatrônica, manutenção, operação na manufatura 4.0 e pequenos reparos em máquinas; para os cargos na área de qualidade, os conhecimentos a serem listados nos perfis são sobre as técnicas da qualidade e a qualidade assegurada junto aos fornecedores e, para os trabalhadores da área de TI os conhecimentos que devem estar presentes no perfil são arquitetura de dados e ciência de dados (Spoettl, 2020).

O Quadro 4 apresenta, de acordo com os respectivos objetivos, o que cada um dos 35 artigos selecionados pesquisou sobre cada um dos três aspectos para o desenvolvimento dos trabalhadores.

Quadro 4 – Identificação quanto aos objetivos dos 35 artigos selecionados para a pesquisa

Autores	Desenvolvimento dos trabalhadores		
	Competências	Perfis de cargo	Treinamento
Chryssolouris et al. (2013)			X
Pfeiffer (2016)		X	
Gorecky et al. (2017)			X
Grzybowska e Łupicka (2017)	X		
Prifti et al. (2017)	X		
Enke et al. (2018)	X		
Kazangoglu e OzkanOzen (2018)	X	X	
Schallock et al. (2018)	X		
Ansari (2019)	X		X
Hulla et al. (2019)	X		X
Maisiri et al. (2019)	X		
Pardi (2019)	X		
Škrinjaric e Domadenik (2019)	X		
Ulmeanu et al. (2019)			X
Belinski et al. (2020)		X	X
Dobrowolska e Knop (2020)	X		
Flores et al. (2020)	X		X
Hernandez-DeMenendez et al. (2020)	X		
Jerman, Bertoneclj et al. (2020)	X		
Jerman et al. (2020)	X	X	
Kaasinen et al. (2020)			X
Nardo et al. (2020)	X		
Puriwat e Tripopsakul (2020)	X		
Spoettl (2020)		X	
Vassiliadis e Hilpert (2020)		X	
Ada et al. (2021)	X		
Bag et al. (2021)	X		
Cirillo et al. (2021)	X		
Kipper et al. (2021)	X		
López et al. (2021)			X
Maisiri et al. (2021)	X		
OzkanOzen e Kazancoglu (2021)			X
Paszkiewicz et al. (2021)			X
Salvatore et al. (2021)	X		X
Spöttl e Windelband (2021)	X	X	

Fonte: elaborado pelos autores.

Os programas e métodos de treinamento serão redesenhados e aperfeiçoados para poderem preparar os trabalhadores frente às novas tecnologias e ferramentas da I4.0. Um exemplo é a fábrica de aprendizagem, um dos métodos desenvolvidos para ser aplicado na

preparação e treinamento dos trabalhadores, que visa integrar as atividades de educação, pesquisa e inovação em uma única iniciativa, envolvendo a indústria e a universidade (Chryssolouris et al., 2013). Ainda sobre a fábrica de aprendizagem, na visão de Kaasinen et al. (2020), os participantes dos treinamentos conseguem se apoderar dos conteúdos transmitidos por meio da abordagem orientada para a ação e processos estruturados de autoaprendizagem, estabelecidos em um ambiente tecnológico de produção.

A realidade virtual é outro método com potencial para apoiar os treinamentos dos trabalhadores, uma vez que permite modelar e testar elementos da linha de produção ou processos de fabricação, colaborando com o aumento da eficiência e confiabilidade de soluções já existentes, ajuda na identificação de problemas e possui um alto nível de envolvimento dos usuários (Paszkiwicz et al. 2021). Estes programas e métodos serão discutidos na seção 5.3 desta pesquisa.

5. Discussão

Esta seção apresenta e discute os três temas mais proeminentes, de acordo com a literatura, necessários para que os trabalhadores estejam aptos para atuarem nas empresas que implantam a I4.0.

5.1 Competências

Dentre as demandas necessárias para a preparação dos trabalhadores atuarem na I4.0, as competências foram mencionadas por diversos trabalhos extraídos da literatura.

Muniz, Winstersberger e Hong (2021) indicaram a importância do conhecimento tácito dos trabalhadores e seu processo de conversão do conhecimento para a indústria. Segundo Kaasinen et al. (2020), o conhecimento tácito presente nas indústrias deve-se tornar visível e compartilhado. Nota-se que os trabalhadores enfatizam a importância do “aprender fazendo”, ou seja, aprender com a prática do dia-a-dia na resolução de problemas. Dessa forma, é importante que as novas competências desenvolvidas sejam aplicadas imediatamente após treinamentos, como forma de manter o conhecimento adquirido.

A primeira definição de competência foi elaborada por McClelland (1973), verbalizando que competência era um conjunto de hábitos ou características pessoais que permitiam ao indivíduo trabalhar de forma mais eficaz. Os estudos a respeito de competência são embarcados em três vertentes diferentes, que são as abordagens comportamental, funcional e a holística/multidimensional. A abordagem comportamental considera a competência como uma interação efetiva entre o indivíduo e o ambiente, sendo fundamentalmente comportamentais e podendo ser aprendidas por meio de treinamentos e programas de desenvolvimento. Quando se trata da abordagem funcional, foram estabelecidos sistemas de qualificações baseados em padrões de competência ocupacional, fundamentados na análise funcional das ocupações dos trabalhadores em diferentes contextos, por fim, na visão holística/multidimensional, considera-se as competências sob a ótica das capacidades técnicas, sejam elas essenciais ou genéricas e conhecimentos sobre os assuntos que orbitam cada profissão (LeDeist & Winterton, 2005).

Para Ada et al. (2021), todas as indústrias e modelos de negócios serão afetados por mudanças tecnológicas advindas com a I4.0, alterando o cenário de empregos e criando novas demandas das competências. Desse modo, os empregadores estarão cada vez mais dispostos a

encontrar pessoas com competências técnicas e práticas relacionadas com essas novas demandas. As competências para análise de dados devem ser combinadas com as competências técnicas, com o conhecimento de indústria e com competências sociais para causar impacto perceptível no trabalho (Maisiri et al., 2019).

A disponibilidade de pessoas talentosas é um dos fatores críticos para a competitividade da manufatura, portanto, é premente a contratação de trabalhadores altamente qualificados e que consigam realizar tarefas cada vez mais complexas. Estudos preveem que haverá mudança considerável na demanda de trabalho com a I4.0, sugerindo que os empregos futuros se tornarão cada vez mais intensivos em conhecimento e competências (Chryssolouris et al., 2013). Segundo Scharlock et al. (2018), deve-se desenvolver nos trabalhadores competências técnicas, de transformação e sociais.

Para entender melhor quais competências um determinado colaborador deve ter, é necessário olhar para a evolução tecnológica do presente momento na indústria, sendo a I4.0 responsável por intensas e disruptivas mudanças no contexto organizacional. Assim sendo, exige-se que os trabalhadores desenvolvam novas competências para fazer frente aos novos “postos” de trabalho (Jerman, Bertoneclj et al., 2020).

Para a implementação e utilização efetiva das tecnologias da I4.0 é necessário que os colaboradores utilizem a criatividade, que é a capacidade de pensar e elaborar formas diferentes de resolver determinadas situações, fazendo conexão entre problemas aparentemente desconexos e encontrando padrões ocultos (Ada et al., 2021; Grzybowska & Łupicka, 2017; Hulla et al., 2019; Jerman, Bertoneclj et al., 2020; Kipper et al., 2021; Maisiri et al., 2019; Maisiri & VanDyk, 2021; Prifti et al., 2017; Spöttl e Windelband, 2021).

Outra competência é a qualidade, na qual se configura na capacidade de identificar oportunidades e caminhos para aumentar a satisfação dos clientes, atender novos mercados ou ganhar mais fatia no mercado atual, além de ter proatividade e iniciativa para implementar e buscar soluções (Ada et al., 2021; Grzybowska & Łupicka, 2017; Hernandez-DeMenendez et al., 2020; Kipper et al., 2021; Schallock, 2018).

O pensamento analítico é a competência que pode ser definida como o processo de pensamento lógico e estruturado para analisar as informações, ou seja, reunir, estruturar, analisar, resolver problemas e tomar decisões de forma lógica e estruturada (Ada et al., 2021; Grzybowska & Łupicka, 2017; Hernandez-DeMenendez et al., 2020; Kipper et al., 2021; Maisiri et al., 2019; Maisiri & VanDyk, 2021; Nardo et al., 2020; Prifti; et al., 2017; Spöttl & Windelband, 2021).

A resolução de problemas é outra competência necessária para os trabalhadores, mas que deve ser utilizada em conjunto com o pensamento analítico e a criatividade, para permitir a interpretação da realidade, gerar ideias lógicas, compará-las, selecionar a melhor opção e colocá-las em prática, ao mesmo tempo em que lidam com ambientes complexos (Grzybowska & Łupicka, 2017; Hernandez-DeMenendez et al., 2020; Hulla et al., 2019; Kazangoglu & OzkanOzen, 2018; Kipper et al., 2021; Maisiri et al., 2019; Maisiri & VanDyk, 2021; Nardo et al., 2020; Prifti et al., 2017; Spöttl & Windelband, 2021).

A capacidade de pesquisa se faz necessária face o aumento da complexidade do ambiente operacional, portanto, é preciso tomar decisões por meio da análise das informações (Grzybowska & Łupicka, 2017; Hernandez-DeMenendez et al., 2020; Kipper et al., 2021;

Maisiri et al., 2019; Maisiri & VanDyk, 2021; Prifti et al., 2017), o uso de novos recursos de forma eficiente (Grzybowska & Łupicka, 2017; Spöttl & Windelband, 2021) e a obtenção de informações de fontes confiáveis (Grzybowska & Łupicka, 2017; Prifti et al., 2017).

A resolução de conflitos, embora seja necessária, não configura uma tarefa fácil, pois demanda que o “resolvedor” tenha maturidade, empatia, autocontrole, paciência e pensamento analítico, entretanto, é passível de ser desenvolvido e praticado (Grzybowska & Łupicka, 2017; Hernandez-DeMenendez et al., 2020; Jerman, Bertoneclj et al., 2020; Maisiri et al., 2019; Maisiri & VanDyk, 2021; Škrinjaric & Domadenik, 2019).

No lado das competências sociais das pessoas, tem destaque a comunicação, ou seja, a capacidade de transmitir, persuadir e influenciar as pessoas a aderirem suas ideias, colaboração e trabalho em equipe (Ada et al., 2021; Hernandez-DeMenendez et al., 2020; Hulla et al., 2019; Kipper et al., 2021; Maisiri et al., 2019; Maisiri & VanDyk, 2021; Nardo et al., 2020; Prifti et al., 2017; Puriwart & Tripopsakul, 2020; Schallock et al., 2018; Škrinjaric & Domadenik, 2019; Spöttl & Windelband, 2021).

Outros fatores sociais são a flexibilidade para adaptação a novas situações, novas regras e novos ambientes de trabalho (Ada et al., 2021; Hernandez-DeMenendez et al., 2020; Jerman, Bertoneclj et al., 2020; Kazangoglu & OzkanOzen, 2018; Kipper et al., 2021; Maisiri et al., 2019; Maisiri & VanDyk, 2021), inteligência emocional para lidar com novas tecnologias, trabalhos padronizados e ferramentas revolucionárias (Maisiri et al., 2019) e liderança para manter a equipe focada nos objetivos e alcance das metas (Ada et al., 2021; Hernandez-DeMenendez et al., 2020; Jerman, Bertoneclj et al., 2020; Maisiri & VanDyk, 2021; Spöttl & Windelband, 2021).

Quanto às competências técnicas, consideradas relevantes para I4.0, os autores destacam o maior conhecimento de TI (conhecimento de linguagens de programação) e a proteção de dados e redes, uma vez que este conhecimento permitirá aos colaboradores, por meio das suas expertises dentro de uma área, melhorarem o nível de serviço pela aplicação da TI, a automatização de processos mais operacionais e a criação e instalação de elevados níveis de proteção dos sistemas, rede, computadores e dados da organização, os quais operam conectados em rede sem fio (Ada et al., 2021; Hernandez-DeMenendez et al., 2020; Hulla et al., 2019; Jerman, Bertoneclj et al., 2020; Kazangoglu & OzkanOzen, Kipper et al., 2021; 2018; Maisiri et al., 2019; Maisiri & VanDyk, 2021; Nardo et al., 2020; Puriwart & Tripopsakul, 2020; Schallock et al., 2018; Škrinjaric & Domadenik, 2019; Spöttl & Windelband, 2021).

O Quadro 5 apresenta as competências mais relevantes identificadas nos artigos extraídos das bases de dados, bem como uma breve definição de cada uma destas.

Quadro 5 – Competências mais relevantes identificadas nos 35 artigos

Competência	Descrição	Autores
Criatividade	A capacidade de pensar e elaborar formas diferentes de resolver determinadas situações, fazendo conexão entre problemas aparentemente desconexos e encontrando padrões ocultos.	Grzybowska e Łupicka (2017); Maisiri et al. (2019).
Pensamento empreendedor	A habilidade de identificar oportunidades e caminhos para aumentar a satisfação dos clientes, atender novos mercados ou ganhar mais fatia no mercado atual, além de ter proatividade e iniciativa para implementar e buscar soluções.	Grzybowska e Łupicka (2017); Hernandez-DeMenendez et al. (2020).
Pensamento analítico	O processo de pensamento lógico e estruturado para analisar as informações, ou seja, reunir, estruturar, analisar, resolver problemas e tomar decisões de forma lógica e estruturada.	Grzybowska e Łupicka (2017); Hernandez-DeMenendez et al. (2020); Maisiri et al. (2019).
Resolução de problemas	Interpretar a realidade, gerar ideias lógicas, compará-las, selecionar a melhor opção e colocar em prática.	Grzybowska e Łupicka (2017); Hernandez-DeMenendez et al. (2020) Kazangoglu e OzkanOzen (2018).
Habilidade de realizar procura	Utilização de fontes confiáveis para realizar pesquisas e obtenção de informações detalhadas e profundas sobre determinada situação.	Grzybowska e Łupicka (2017); Prifti et al. (2020).
Orientação para eficiência	Utilizar os recursos disponíveis da melhor maneira possível, através de ações e decisões.	Grzybowska e Łupicka (2017); Spöttl e Windelband (2021).
Resolução de conflitos	Pode ser entendida como a solução de impasses, com maturidade, empatia, autocontrole, paciência e pensamento analítico.	Grzybowska e Łupicka (2017); Maisiri et al. (2019); Škrinjaric e Domadenik (2019).
Habilidade sociais	Comunicação, ou seja, a habilidade de transmitir, persuadir e influenciar as pessoas a aderirem suas ideias, colaboração e trabalho em equipe.	Ada et al. (2021); Hulla et al. (2019); Kipper et al. (2021); Nardo et al. (2020); Prifti et al. (2020); Puriwart e Tripopsakul (2020); Schallock (2018); Škrinjaric e Domadenik (2019).
Flexibilidade	Adaptação a novas situações, novas regras e novos ambientes de trabalho.	Ada et al. (2021); Hernandez-DeMenendez et al. (2020); Jerman, Bertoneclj et al. 2020; Kazangoglu e Ozkan-ozen (2018); Kipper et al. (2021); Maisiri et al. (2019); Maisiri e VanDyk (2021).
Inteligência emocional	Manter-se emocionalmente estável frente a desafios.	Maisiri et al. (2019).
Liderança	Habilidade de liderar e motivar uma equipe em prol de algo ou o alcance de metas.	Ada et al. (2021); Hernandez-DeMenendez et al. (2020); Jerman, Bertoneclj et al. (2020); Maisiri e VanDyk (2021); Spöttl e Windelband (2021).
Competências técnicas	São conhecimentos tais como know-how em uma determinada função e/ou conhecimentos de TI (conhecimento de linguagens de programação, proteção de dados, etc.).	Ada et al. (2021); Hulla et al. (2019); Kipper et al. (2021); Nardo et al. (2020); Puriwart e Tripopsakul (2020); Schallock (2018); Škrinjaric e Domadenik (2019); Spöttl e Windelband (2021).

Fonte: Elaborado pelos autores

5.2 Perfis de cargos

Como a I4.0 demanda novas competências por parte dos trabalhadores, os perfis dos cargos terão que ser revistos, passando a incorporar as novas atribuições.

Os perfis de cargo são fichas que registram as qualificações necessárias para que o trabalhador possa exercer determinada função na organização, sendo que na I4.0, recomenda-se que para cada nova tecnologia adotada, uma qualificação deve ser relacionada (Fareri, Fantoni, Chiarello, Coli, & Binda, 2020).

Pfeiffer (2016) e Salvatore et al. (2021) apontam perfis requeridos para atuação na I4.0 em três “classes” de operadores: a) operadores de realidade aumentada que usam dispositivos para checagem e testarem uma determinada atividade. b) operadores junto a robôs colaborativos, os quais precisam ter pensamento analítico, flexibilidade, tomar decisões, possuir competências técnicas da tarefa a ser realizada e conhecimentos sobre TI, para programarem/ajustarem os robôs. c) operadores saudáveis e fortes, formados por aqueles que se utilizam das tecnologias para monitorar, em tempo real, a respectiva saúde, enquanto que os fortes são aqueles que fazem uso de recursos como exoesqueletos, definido como um sistema biomecânico os quais auxiliam os trabalhadores na realização de tarefas que exigem grande esforço físico.

Segundo Vassiliadis e Hilpert (2020), trabalhadores mais qualificados tem menor probabilidade de se tornarem obsoletos frente às tecnologias da I.40, uma vez que eles são mais versáteis e capazes de desempenhar diferentes funções e atividades, sejam elas estruturadas e rotineiras ou não. Pfeiffer (2016) aponta que o perfil profissional que será mais demandado pelas empresas na era da I4.0 será o que contempla alta qualificação, elevado nível de treinamentos, experiência e resiliência, fazendo com que os trabalhadores sejam capazes de evitar ou atenuar as falhas inerentes ao sistema digitalizado.

Spoettl (2020) definiu as qualificações mínimas necessárias para os perfis de cargos para atuação na I4.0, sendo: a) para cargos operacionais, os trabalhadores precisam ter conhecimentos de mecânica, manutenção, operação na manufatura 4.0 e pequenos reparos em máquinas; b) para os cargos na área de qualidade os conhecimentos são sobre as técnicas da qualidade e a qualidade assegurada junto aos fornecedores; c) os trabalhadores da área de TI devem ter conhecimentos sobre arquitetura de dados e ciência de dados.

Prifti et al. (2017) propuseram 8 qualificações que precisam estar presentes nos perfis de cargo dos profissionais de TI na I4.0: a) liderança e decisão; b) suporte e cooperação; c) interação e presença; d) capacidade de análise e interpretação de dados; e) criatividade e conceitualização; f) organização e capacidade de execução; g) capacidade de adaptação e resposta as mudanças; h) empreendedorismo e busca por resultados elevados.

Spöttl e Windelband (2021) propuseram algumas qualificações que devem constar nos perfis de cargo dos trabalhadores das fábricas que operarem com a I4.0. Estas qualificações e as respectivas descrições constam no Quadro 6.

Quadro 6 – Qualificações sugeridas para o perfil de cargo de trabalhadores das fábricas

Qualificação	Descrição
Análise, supervisão, otimização e extensão de redes	Capacidade de otimizar a produção em plantas mais antigas, superar rupturas nas interfaces de sistemas e manter a digitalização do processo.
	O trabalhador qualificado é ao mesmo tempo o usuário, o técnico e o mestre dos sistemas.
Usuário e apoio para com os sistemas	Qualificado para utilizar sistemas de assistência e diagnóstico controlado por <i>software</i> , tecnologia de <i>firewall</i> , configuração de roteador, identificação e reparos de avarias e compreensão dos processos de rede.
Análise, interpretação e documentação de dados da produção	Trabalhador consegue combinar dados além da cadeia de valor agregado, bem como, são qualificados para dominar o manuseio de dados.
Compreender e otimizar as inter-relações a montante e a jusante do processo	Integração e sincronização em tempo real dos processos ao longo do ciclo de vida dos produtos, realizando otimizações sempre que possível.
Otimizar os processos	Preparação para partida e adoção de medidas para garantir a operação, cooperando com os colegas e, quando necessário, atuar de forma independente e fazendo uso de informações digitais
Reparar e fazer manutenções na planta	Resolver problemas e efetuar reparos na planta em itens como atuadores, sensores, componentes mecânicos e processamento de sinais.

Fonte: Adaptado de Spöttl e Windelband (2021)

O perfil dos ocupantes de cargos de engenharia atuantes na I4.0 precisa ser atualizado e nele constar as seguintes competências: a) liderança; b) visão estratégica do conhecimento; c) auto organização; d) dar e receber feedback; e) proatividade; f) criatividade; g) resolução de problemas; h) interdisciplinaridade; i) trabalho em equipe, j) trabalho colaborativo; k) iniciativa; l) boa comunicação; m) inovação; n) adaptabilidade; o) flexibilidade; p) auto-gestão (Kipper et al., 2021).

5.3 Treinamento

Na literatura extraída das bases de dados, muitos autores reforçaram a importância da preparação dos trabalhadores, uma vez que as empresas não devem encontrar pessoal preparado para todas as funções necessárias, sendo que esta preparação será feita via treinamento, abordado nesta seção.

A transformação dos locais de trabalho ocasionadas pelas tecnologias da I4.0 obriga o aprimoramento e o desenvolvimento constante dos trabalhadores por meio de treinamentos práticos, cuja aprendizagem se dará pelo uso de tecnologia virtual, simulação, mídia digital entre outros (SPOETTTL, 2020).

De acordo com Maisiri et al. (2019), os treinamentos para os futuros profissionais devem conter o desenvolvimento das competências comportamentais, visto que os desenvolvimentos tecnológicos da I4.0 estão no mundo virtual, enfatizando a necessidade de compreensão interdisciplinar.

Com a I4.0 ocorre a intensificação do uso da automação e da robótica nas operações, reduzindo o número de atividades repetitivas e ocupando o lugar das funções rotineiras, fazendo

com que o treinamento e a preparação dos trabalhadores sejam fundamentais para o sucesso da migração da I3.0 para a nova versão, mais digital e flexível (Maisiri; Darwish; Van dyk, 2019).

Seguindo esta linha, Kazancoglu e Ozkan-Ozen (2018) apontam que o foco da preparação dos trabalhadores deve ser na expansão das capacidades e não mais nas qualificações tradicionais, demandando novos métodos de treinamento.

Alinhados com esta nova demanda de preparação dos trabalhadores, López et al. (2021) apresentam o conceito de Educação 4.0, definida como o processo em que instituições de ensino aplicam novos métodos de aprendizagem juntamente com infraestruturas inteligentes e tecnológicas com o objetivo de melhorar a geração e transferência de conhecimento. De acordo com os novos desafios da I4.0, em que as empresas devem sempre inovar para encontrar novas soluções, a Educação 4.0 prevê a formação de profissionais altamente competitivos para inserção nesse novo modelo. Por fim, para garantir a inovação no campo da educação, as instituições e seus alunos devem contemplar as oportunidades presentes na I4.0, como armazenamento em nuvem, internet das coisas, sistemas ciberfísicos e inteligência artificial (IA).

Outro método para o treinamento dos trabalhadores da I4.0 é a chamada fábrica de aprendizagem, que visa integrar as atividades de educação, pesquisa e inovação em uma única iniciativa envolvendo a indústria e a universidade, de modo a promover as perspectivas da manufatura baseada no conhecimento, competitividade e sustentabilidade. As atividades de inovação empregam a transferência de conhecimento e de tecnologias derivadas de projetos de pesquisa, enquanto as atividades educacionais empregam esquemas de ensino para comunicar aos estudantes novos conhecimentos e métodos de trabalho da prática industrial (Chryssolouris et al., 2013).

O objetivo da fábrica de aprendizagem é obter a integração entre o ambiente acadêmico e o industrial por meio de atividades de pesquisa, inovação e educação. As atividades de pesquisa são realizadas na forma de projetos industriais, onde as empresas fornecem conhecimento a partir de experiências e práticas industriais. As atividades de inovação empregam esquemas de transferência de conhecimento para manter a indústria na vanguarda da tecnologia. Por fim, as atividades educacionais empregam esquemas de ensino para comunicar aos alunos novos conhecimentos e métodos de trabalho. A Fábrica de Aprendizagem é uma experiência que desenvolve competências profissionais em relação à gestão, participação e organização do trabalho. Desse modo, o desenvolvimento de competências pessoais deve levar em consideração o treinamento em ambientes de manufatura, aproximando o aprendizado das práticas industriais por meio da adoção de novas tecnologias a fim de aumentar a capacidade de inovação e resolução de problemas (Belinski et al., 2020).

Para Gorecky et al. (2017), o progresso na interação homem-máquina é um pré-requisito para projetos de novos sistemas de treinamento baseados em computador. Como exemplo de projeto tem-se a utilização de: a) realidade aumentada (AR), permitindo a combinação do ambiente de trabalho real com informações virtuais adicionais; b) tecnologias móveis, como smartphones e tablets, para treinamento usando câmeras e sensores para monitoramento dos fluxos de trabalho, fazendo com que o sistema permitisse a um usuário treinado, instruir trabalhadores menos experientes por meio da comparação do fluxo. Segundo Kaasinen et al. (2020), as soluções baseadas em realidade aumentada são mais rápidas de usar em comparação com as instruções em papel, além de apresentarem menos erros.

A utilização de realidade virtual na indústria possui um enorme potencial, principalmente no que diz respeito à implementação dos conceitos da I4.0 relacionados com o treinamento de trabalhadores. Seu uso para modelar e testar elementos de linha de produção ou processos de fabricação, o que pode contribuir para o aumento da eficiência e confiabilidade de soluções já existentes. Além disso, implementar processos em um ambiente virtual ajuda a identificar problemas, reduzindo tempo e custos relacionados em processos já implementados. Pode-se notar que a realidade virtual possui um alto nível de envolvimento do usuário, característica essencial no desenvolvimento de novos conhecimentos e competências práticas desejáveis na indústria. Além disso, seu uso em treinamentos para as demandas de tecnologia, advindas com a I4.0, permite eliminar riscos físicos para os usuários (lesões que poderiam ocorrer durante treinamentos práticos) ou ameaças à *hardwares* e *softwares*, quando há configurações incorretas ou procedimentos inadequados durante treinamentos práticos (Paszkiewicz et al., 2021).

6. Conclusão

Neste trabalho de pesquisa, realizado por meio de uma revisão sistemática da literatura, abordou-se o desenvolvimento dos trabalhadores para atuarem na I4.0, por meio de três temas, sendo a competências dos trabalhadores, os perfis de cargos e os programas e métodos para treinamentos.

Os pesquisadores apontam que com a chegada da I4.0, impactos no emprego serão inevitáveis, nem tanto quanto a possíveis perdas, mas na reestruturação das funções causadas pelas novas tecnologias, que exigirão dos trabalhadores forte senso de adaptação. Por isso, o aprendizado contínuo, a flexibilidade, a criatividade e o trabalho em equipe são considerados de alta relevância para os que quiserem se destacar e manter a empregabilidade.

Embora possa parecer um contrassenso, as tecnologias da I4.0 exigem maior intervenção dos trabalhadores das áreas operacionais, não como consequência de incidentes técnicos, mas sim para evita-los, fazendo com que as tarefas quantitativas diminuam, mas por outro lado, ocorrerá um aumento na demanda por atividades qualitativas, portanto, para que possam realizar estas atividades mais complexas, os trabalhadores precisam ser altamente qualificados e dotados de mais competências, exigindo atualizações nos perfis dos cargos e treinamentos intensivos (Pfeiffer, 2016).

Competências como a criatividade, a qual consiste na capacidade do trabalhador de pensar e elaborar formas diferentes de resolver determinadas situações, o pensamento analítico, definido como o processo de pensamento lógico e estruturado para analisar as informações para resolver problemas e tomar decisões de forma lógica e estruturada, ou ainda, a necessidade de maiores conhecimentos sobre Tecnologia da Informação, como linguagem de programação, proteção de dados e operação em rede, fazem parte da lista de itens essenciais para o novo trabalhador.

No campo dos perfis de cargo, qualificações como conhecimentos em mecatrônica, manutenção, operação em ambiente da I4.0 e pequenos reparos nas máquinas são apontados como necessários nos perfis dos trabalhadores operacionais. No âmbito dos profissionais de TI e engenheiros, os perfis são mais abrangentes e neles precisam constar qualificações como liderança e capacidade para tomada de decisão, capacidade de análise e interpretação de dados,

criatividade, organização e execução, capacidade de adaptação e resposta as mudanças, entre outras.

Os treinamentos, necessários para manter os trabalhadores atualizados, estão sendo revistos e modernizados, para que assim possam fazer frente ao novo cenário nas empresas, cujo ambiente está se tornando digitalizado e virtual. O sucesso da implantação e sustentação da I4.0 nas organizações não será obtido apenas pela introdução de novas tecnologias, mas principalmente pela adoção de novas abordagens de treinamento as quais permitam o desenvolvimento contínuo dos trabalhadores. Neste contexto, a fábrica de aprendizagem surge como uma alternativa para suprir esta necessidade, haja vista que proporciona o desenvolvimento de competências nos treinamentos realizados nos ambientes de manufatura, aproximando o aprendizado das práticas industriais, à medida que adota novas tecnologias para a resolução de problemas e ampliação da criatividade e inovação dos trabalhadores. A realidade aumentada é outro método que evolui em conjunto com a I4.0 na preparação dos trabalhadores, cuja ferramenta permite a realização de treinamentos combinando os ambientes de trabalho real com informações virtuais, o que garante a segurança das pessoas e dos equipamentos, uma vez que são aplicados simulando a realidade, mas afastado das estruturas físicas.

Sugere-se a realização de estudos em fábricas para identificar as competências, formas de treinamento e perfis de cargo para algumas funções, como por exemplo, operadores de linha de produção da indústria, fornecendo dados como quais competências são necessárias, como ficou definida a sua descrição da função e como este trabalhador foi e continua sendo treinado para exercer as atividades.

A presente pesquisa indicou que a gestão do conhecimento lida com o conhecimento interno e externo para melhorar o desempenho da organização (Ansari, 2019), sendo que o compartilhamento do conhecimento no trabalho influencia o aprendizado coletivo (Muniz et al., 2021; Pfeiffer, 2016). Como o tema compartilhamento dos conhecimentos na implantação da I4.0 é subexplorado, também é sugerido como proposta de trabalho futuro (Ada et al., 2021; Ansari, 2019; Chrystolouris et al., 2013; Enke et al., 2018; Kaasinen et al., 2020; Maisiri & VanDyk, 2021; Schallock et al., 2018).

Referências

- Ada, N., Ilic, D., & Sagnak, M. (2021) A Framework for New Workforce Skills in the Era of Industry 4.0. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences* Vol. 6, No. 3, pp.771-786
- Ansari, F. (2019). Knowledge management 4.0: theoretical and practical considerations in cyber-physical production systems. *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 52, No. 13, 1597-1602.
- Ardito, L., Petruzzelli, A. M., Panniello, U., & Garavelli, A. C. (2018). Towards Industry 4.0: Mapping digital technologies for supply chain management-marketing integration. *Business Process Management Journal*, Vol. 25, No. 2, pp.323-346.
- Bag, S., Pretorius, J. H. C., Gupta, S., & Dwivedi, Y. K. (2021). Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 163, No. 2021, 120420.
- Bauer, H., Brandl, F., Lock, C., & Reinhart, G. (2018). Integration of Industrie 4.0 in lean manufacturing learning factories. *Procedia manufacturing*, Vol. 23, No. 2018, pp.147-152.

- Belinski, R., Peixe, A. M., Frederico, G. F., & Garza-Reyes, J. A. (2020). Organizational learning and Industry 4.0: findings from a systematic literature review and research agenda. *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 27 No. 8, pp.2435-2457
- Brant, A., & Sundaram, M. M. (2015). A novel system for cloud-based micro additive manufacturing of metal structures. *Journal of Manufacturing processes*, Vol. 20, pp.478-484.
- Chryssolouris, G., Mavrikios, D., & Mourtzis, D. (2013). Manufacturing systems: skills & competencies for the future. *Procedia CIRP*, Vol. 7, pp.17-24.
- Cirillo, V., Rinaldini, M., Staccioli, J., & Virgillito, M. E. (2021). Technology vs. workers: the case of Italy's Industry 4.0 factories. *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol. 56, pp.166-183.
- Cotet, G. B., Balgiu, B. A., & Zaleschi, V. C. (2017). Assessment procedure for the soft skills requested by Industry 4.0. In *MATEC web of conferences*, EDP Sciences, Vol. 121, NO. 8, p.07005.
- Dobrowolska, M., & Knop, L. (2020). Fit to Work in the Business Models of the Industry 4.0 Age. *Sustainability*, Vol. 12, No. 12, pp.4854-4872.
- Dujin, A., Geissler, C., & Horstkötter, D. (2014). Think Act Industry 4.0. The new industrial revolution: How Europe will succeed. *Ronald Berger Strategy Consultants GmbH: Munich, 24p.*
- Eilström, P. E., & Kock, H. (2008). Competence development in the workplace: concepts, strategies and effects. *Asia pacific education review*, Vol. 9, No. 1, pp.5-20.
- Elhoone, H., Zhang, T., Anwar, M., & Desai, S. (2020). Cyber-based design for additive manufacturing using artificial neural networks for Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, Vol. 58, No. 9, pp.2841-2861.
- Enke, J., Glass, R., Kreß, A., Hambach, J., Tisch, M., & Metternich, J. (2018). Industrie 4.0—Competencies for a modern production system: A curriculum for Learning Factories. *Procedia manufacturing*, Vol. 23, pp.267-272.
- Evans, P. (2019). Making an HRD domain: identity work in an online professional community. *Human resource development international*, Vol. 22, No. 2, pp.116-139.
- Fareri, S., Fantoni, G., Chiarello, F., Coli, E., & Binda, A. (2020). Estimating Industry 4.0 impact on job profiles and skills using text mining. *Computers in industry*, Vol. 118, p.103222.
- Flores, E., Xu, X., & Lu, Y. (2020). Human Capital 4.0: a workforce competence typology for Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 31, No. 4, pp. 687-703.
- Gorecky, D., Khamis, M., & Mura, K. (2017). Introduction and establishment of virtual training in the factory of the future. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 30, No. 1, pp.182-190.
- Grzybowska, K., & Łupicka, A. (2017). Key competencies for Industry 4.0. *Economics & Management Innovations*, Vol. 1, No. 1, pp.250-253.
- Gualtieri, L., Rauch, E., & Vidoni, R. (2021). Emerging research fields in safety and ergonomics in industrial collaborative robotics: A systematic literature review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 67, p.101998.
- Hernandez-de-Menendez, M., Morales-Menendez, R., Escobar, C. A., & McGovern, M. (2020). Competencies for Industry 4.0. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, Vol. 14, No. 4, pp.1511-1524.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2016). Digitization of industrial work: development paths and prospects. *Journal for Labour Market Research*, Vol. 49, No. 1, pp.1-14.
- Hulla, M., Hammer, M., Karre, H., & Ramsauer, C. (2019). A case study based digitalization training for learning factories. *Procedia manufacturing*, Vol. 31, pp.169-174.
- Jerman, A., Bertoneclj, A., Dominici, G., Bach, M. P., & Trnavčević, A. (2020). Conceptual key competency model for smart factories in production processes. *Organizacija*, Vol. 53, No. 1, pp.68-79.

Jerman, A., Pejić Bach, M., & Aleksić, A. (2020). Transformation towards smart factory system: Examining new job profiles and competencies. *Systems Research and Behavioral Science*, Vol. 37, No. 2, pp.388-402.

Kaasinen, E., Schmalfuß, F., Öztürk, C., Aromaa, S., Boubekeur, M., Heilala, J., ... & Walter, T. (2020). Empowering and engaging industrial workers with Operator 4.0 solutions. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 139, 105678.

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. *Final report of the Industrie 4.0*. Acatech. National Academy of Science and Technology, Germany, Vol. 4, No. 0.

Kazancoglu, Y., & Ozkan-Ozen, Y. D. (2018). Analyzing Workforce 4.0 in the Fourth Industrial Revolution and proposing a road map from operations management perspective with fuzzy DEMATEL. *Journal of Enterprise Information Management*, Vol. 31 No. 6, pp. 891-907.

Kipper, L. M., Iepsen, S., Dal Forno, A. J., Frozza, R., Furstenau, L., Agnes, J., & Cossul, D. (2021). Scientific mapping to identify competencies required by industry 4.0. *Technology in Society*, Vol. 64, p.101454.

Lange, G., & Lin, F. (2014, December). Modeling well scheduling as a virtual enterprise with intelligent agents. In *2014 IEEE 17th International Conference on Computational Science and Engineering* (pp.89-96). IEEE.

Le Deist, F. D., & Winterton, J. (2005). What is competence? *Human resource development international*, Vol. 8, No. 1, pp.27-46.

López, H. A., Ponce, P., Molina, A., Ramírez-Montoya, M. S., & Lopez-Caudana, E. (2021). Design framework based on TEC21 educational model and Education 4.0 implemented in a Capstone Project: A case study of an electric vehicle suspension system. *Sustainability*, Vol. 13, No. 11, p.5768.

Mahale, R. S., Vasanth, S., Krishna, H., & Peramenahalli, S. (2021). Sensor-Based Additive Manufacturing Technologies. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. Vol. 12, No. 3, pp.3513-3521

Maisiri, W., Darwish, H., & Van Dyk, L. (2019). An investigation of Industry 4.0 skills requirements. *South African Journal of Industrial Engineering*, Vol. 30, No. 3, pp.90-105.

Maisiri, W., & van Dyk, L. (2021). Industry 4.0 skills: A perspective of the South African manufacturing industry. *SA Journal of Human Resource Management*, Vol. 19, pp.1416-1425.

McClelland, D. C. (1973). Testing for competence rather than for "intelligence.". *American psychologist*, Vol. 28, No. 1, pp.1-14.

Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad hoc networks*, Vol. 10, No. 7, pp.1497-1516.

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., Antes, G., ... & Tugwell, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement (Chinese edition). *Journal of Chinese Integrative Medicine*, Vol. 7, No. 9, pp.889-896.

Muniz Jr, J., Wintersberger, D., & Hong, J. L. (2021) Worker and manager judgments about factors that facilitate knowledge-sharing: Insights from a Brazilian automotive assembly line. *Knowledge and Process Management*. pp.1-15.

Nakano, D., & Muniz, J. (2018). Writing the literature review for empirical papers. *Production*, Vol. 28.

Nardo, M., Forino, D., & Murino, T. (2020). The evolution of man-machine interaction: The role of human in Industry 4.0 paradigm. *Production & Manufacturing Research*, Vol. 8, No. 1, pp.20-34.

Ozkan-Ozen, Y. D., & Kazancoglu, Y. (2021). Analyzing workforce development challenges in the Industry 4.0. *International Journal of Manpower*. Vol. 42, No. 3.

Paelke, V. (2014, September). Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4.0. environment. In *Proceedings of the 2014 IEEE emerging technology and factory automation (ETFA)* (pp. 1-4). IEEE.

Pardi, T. (2019). Fourth industrial revolution concepts in the automotive sector: performativity, work and employment. *Journal of Industrial and Business Economics*, Vol. 46, No. 3, pp.379-389.

Paszkiwicz, A., Salach, M., Dymora, P., Bolanowski, M., Budzik, G., & Kubiak, P. (2021). Methodology of Implementing Virtual Reality in Education for Industry 4.0. *Sustainability*, Vol. 13, No. 9, p.5049.

Pfeiffer, S. (2016). Robots, Industry 4.0 and humans, or why assembly work is more than routine work. *Societies*, Vol. 6, No. 2, pp.1-26.

Pifti, L.; Knigge, M.; Kienegger, H.; Krcmar, H. (2017): A Competency Model for "Industrie 4.0" Employees, in Leimeister, J.M.; Brenner, W. (Hrsg.): Proceedings der 13. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2017), St. Gallen, S. 46-60

Puriwat, W., & Tripopsakul, S. (2020). Preparing for Industry 4.0--Will Youths Have Enough Essential Skills?: An Evidence from Thailand. *International Journal of Instruction*, Vol. 13, No. 3, pp.89-104.

Saha, O., & Dasgupta, P. (2018). A comprehensive survey of recent trends in cloud robotics architectures and applications. *Robotics*, Vol. 7, No. 3, p.47.

Sadeghi, A. R., Wachsmann, C., & Waidner, M. (2015, June). Security and privacy challenges in industrial internet of things. In *2015 52nd ACM/EDAC/IEEE Design Automation Conference (DAC)* (pp. 1-6). IEEE.

Salvatore, M., & Stefano, R. (2021). Smart operators: How Industry 4.0 is affecting the worker's performance in manufacturing contexts. *Procedia Computer Science*, Vol. 180, pp.958-967.

Santos, P. F. D., & Simon, A. T. (2018). Uma avaliação sobre as competências e habilidades do engenheiro de produção no ambiente industrial. *Gestão & Produção*, Vol. 25, pp.233-250.

Schallock, B., Rybski, C., Jochem, R., & Kohl, H. (2018). Learning Factory for Industry 4.0 to provide future skills beyond technical training. *Procedia manufacturing*, Vol. 23, pp.27-32.

Shao, G., Shin, S. J., & Jain, S. (2014, December). Data analytics using simulation for smart manufacturing. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference 2014* (pp. 2192-2203). IEEE.

Škrinjarčić, B., & Domadenik, P. (2019). Examining the role of key competences in firm performance. *International Journal of Manpower*. Vol. 41, No. 4, pp. 391-416.

Spencer, L. M., & Spencer, P. S. M. (2008). *Competence at Work models for superior performance*. John Wiley & Sons. New York, NY.

Spoettl, G. (2020). AUTO 4.0: Anticipation of Skills for Employees Due to Digitalization--Identification of "Occupational Profiles". *Industry*, Vol. 4, pp.69-82.

Spöttl, G., & Windelband, L. (2021). The 4th industrial revolution--its impact on vocational skills. *Journal of Education and Work*, Vol. 34, No. 1, pp.29-52.

Ulmeanu, M., Doicin, C., Roşca, L., Rennie, A., Abram, T., & Bajdor, P. (2019). TechHUB 4.0-Technology and entrepreneurship education for bridging the gap in smart product development. MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, ROM.

Vassiliadis, M., & Hilpert, Y. M. (2020). Labor-based Innovation: The Advantage of Skills and Education. *UCJC Business & Society Review*, Vol. 17, No. 1, pp.66-83.

Yen, C. T., Liu, Y. C., Lin, C. C., Kao, C. C., Wang, W. B., & Hsu, Y. R. (2014). Advanced manufacturing solution to industry 4.0 trend through sensing network and cloud computing technologies. In *2014 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)* (pp. 1150-1152). IEEE.

Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*, Vol. 3, No. 5, pp.616-630.